

## 半導体ウェットクリーニングプロセスの研究

著者	都賀 智仁
号	2304
発行年	1998
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/7577">http://hdl.handle.net/10097/7577</a>

	つ が としひと
氏 名	都 賀 智 仁
授与学位	博士（工学）
学位授与年月日	平成 11 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規定第 4 条第 1 項
研究科、専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）電子工学専攻
学位論文題目	半導体ウェットクリーニングプロセスの研究
指導教官	東北大学教授 大見忠弘
論文審査委員	主査 東北大学教授 大見忠弘    東北大学教授 内田龍男 東北大学教授 坪内和夫

## 論文内容要旨

本研究は、半導体ウェットクリーニングプロセスにおいて、高性能、且つ高生産性を実現し、次世代半導体デバイス製造対応のプロセスを確立する目的として行われた。

第 1 章は序論であり、半導体デバイス発展の歴史について記述した上、本研究の背景、及び目的について述べている。半導体デバイスの微細化、高集積化が進む中で高性能デバイスを実現するには、より高清浄なシリコンウエハ表面が要求される。その要求されるシリコン表面を提供する目的であるのが半導体ウェットクリーニングプロセスである。次世代の半導体デバイス製造に対応し得る技術を確立する上で、そのウェットクリーニングプロセスの高性能化が、如何に重要であるかが示してある。

第 2 章では、サブクォーターミクロン以降の半導体デバイスにおいて、高性能デバイスを得るためのシリコンウエハ表面の条件が定めている。半導体デバイス特性に影響を及ぼす、シリコン表面の粗度、金属不純物、有機不純物、及びパーティクルにおいて、それらのレベルとデバイスの電気的特性との関係について研究し、それぞれの要求レベルを導き出した。また、シリコン表面粗度の増加メカニズムの機構解明について研究した結果について述べている。様々な種類（Cz, Fz, Epi）のウエハ表面粗度の増加傾向と、ウエハ基板中への不純物（空孔子点拡散機構で拡散する）の拡散量との関係を調査した結果、シリコン基板中の空孔子、及びそのクラスターの密度とシリコン表面粗度の増加傾向に密接な関係があることが明らかにされた。

第 3 章では、300mm 直径大口径基板を用いた次世代半導体デバイス量産を可能にする枚葉式ウエハ洗浄装置の開発結果について述べている。将来のサブクォーターミクロン以降のデバイス製造に対応し得る高性能、且つ高生産性ウェットクリーニングに必要な不可欠な要素を明確に掲げ、それらを実現可能とする装置の開発に成功した。薬液供給系、及び洗浄装置からの不純物発生を極限に抑制する技術を確立したことに加え、クリーニングプロセス中の高速回転するシリコンウエハの

表面状態、及びウエハ上の気流分布を分析・解明した上で、クリーニングプロセスの最適条件を決定している。

パーティクルの再付着が避けられない問題をもつ希フッ酸洗浄に対して、希フッ酸に酸化還元電位の高いオゾン水を添加することによってシリコンウエハ上の酸化膜を制御可能とし、そのパーティクル再吸着問題を解決できることを明らかにした。更に、それらの薬液の混合比/濃度を厳密に制御することによって、モノレイヤーでの酸化膜厚制御をも可能とした。

図 1 は、希フッ酸－オゾン水混合溶液中のフッ酸濃度と洗浄後に残留するシリコンウエハ上のパーティクル数の関係を示しているが、2.5 ppm のオゾン水に対し、0.05%以下のフッ酸濃度で、酸化膜を残留させ、ウエハ表面を親水性に保持することが可能であり、その結果、パーティクルの再付着が抑制できることが明らかとなった。

また、ウエハの高速回転は、ウエハ上の気流の乱気流化をもたらす(図 2 参照)故、洗浄チャンパー内において洗浄液のミストの滞在を促進し、その結果ウエハ上へのパーティクル吸着問題を引き起こす。それに対し、低速度でのウエハ回転 (500 rpm 以下)はスムーズな排気を促し、枚葉式ウエハ洗浄法でのパーティクル低減を可能とし、高性能洗浄を実現する上で、非常に有効な手段のひとつであることを提示している。

これらの技術の開発・導入により、第 2 章で定めたサブクォーターミクロン以降において高性能デバイスを得るためのシリコンウエハ表面の条件を満たし得る、非常に高い清浄度の高いシリコン表面を短時間で提供できることが可能となった。本枚葉式ウエハ洗浄

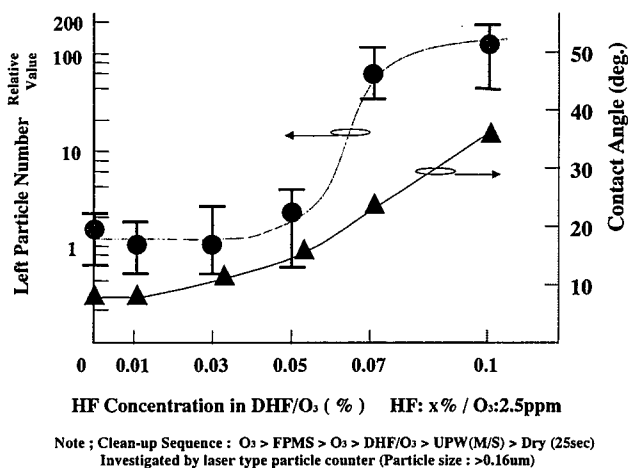


図 1 希フッ酸－オゾン溶液中のフッ酸濃度とパーティクルレベルとの関係

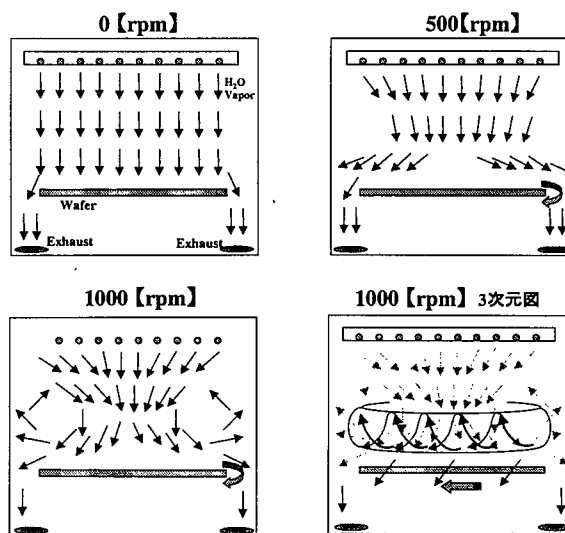


図 2 ウエハの回転速度と気流との関係  
—— 可視化実験結果

装置の汚染物除去能力評価において、わずか 80～85 秒でウエハ 1 枚を十分に洗浄・乾燥できることが実証されている。

第 4 章は、ウエットクリーニングプロセスに必須であるメガソニック技術において、そのエネルギー伝播メカニズムについて研究し、枚葉式ウエハ洗浄装置におけるメガソニック技術の最適化、並びに有効な導入法を提案したものである。ウエハ裏面から照射されるメガソニックのエネルギーの透過率（ウエハ表面への透過）を、照射角度の変化により高めることが可能であることを理論上打ち立て、実験結果からもそれを証明してある。

図 3 は、約 1MHz の周波数のメガソニックをウエハ裏面からのみ照射させた場合、ウエハに対するメガソニックの照射角度とウエハ表面に透過された音圧値（音圧透過率）との関係を示す。約 30 度の照射角度が音圧（エネルギー）透過率を最大にさせることを明らかにしたものである。

この技術の枚葉式ウエハ洗浄装置への応用・導入は、ウエハ表面でメガソニック照射を省略しても、ウエハ両面共に高い汚染物除去率を保持することを可能とするだけでなく、ウエハ表面においてメガソニックの照射が無い

が故に、洗浄液のミスト化を最少限に抑制でき、ウエハ表面上の汚染物、特にパーティクルの更なる低減が期待できる。更に、洗浄液（薬液・超純水）の低消費量化をも可能とし、枚葉式ウエハ洗浄プロセスの高性能・高生産性を可能とするのである。

第 5 章は、結論であり、第 2 章から第 4 章までを通して得られた結果を統括している。

以上要するに本研究は、次世代の半導体製造に対応し得る高性能、且つ高生産性なるウエットクリーニング装置、及びプロセスを開発し、その有効性を実証したもので、今後の半導体電子工学の発展に非常に役立つものである。

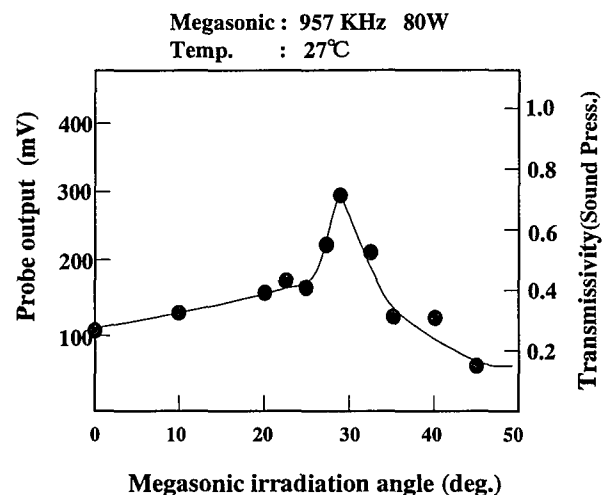


図 3 メガソニック照射角度と音圧（エネルギー）透過率

## 審査結果の要旨

半導体デバイスの微細化、高集積化が進むにつれて、各々のプロセスにおける高品質化の要求度は益々厳しいものになってくる。著者は、半導体ウェットクリーニングプロセスにおいて、高性能デバイスに求められるシリコン基板表面の条件を明らかにした上で、その条件を満たし得る性能をもちながら、かつ生産性の高いプロセスを実現する次世代半導体デバイス製造対応の新しい枚葉洗浄装置を開発し、その有効性を実証した。本論文は、これらの研究成果をまとめたもので、全文5章からなる。

第1章は序論である。

第2章では、高性能デバイスを得るための条件として、シリコン表面の粗度、金属不純物、有機不純物、及びパーティクルにおいて、それらのレベルとデバイスの電気的特性との関係について研究し、サブクォーターミクロン以降の半導体デバイス製造プロセスの要求レベルを定めている。また、シリコン表面粗度の増加メカニズムの機構解明について研究した結果について述べている。

第3章では、300 mm 直径大口径基板を用いた次世代半導体デバイス量産を可能にする枚葉ウェーハ洗浄装置の開発結果について述べている。クリーニングプロセス中の高速回転するシリコンウェーハ表面状態、及びウェーハ上の気流分布を分析・解明した上で、クリーニングプロセスの最適条件を決定している。洗浄結果は、ウェーハ一枚を85秒で洗浄・乾燥可能なことを明らかにし、第2章において定めたサブクォーターミクロン以降における半導体デバイス製造プロセスの要求レベルを満足させ得るものであることを実証している。これは重要な成果である。

第4章では、室温ウェットクリーニングプロセスに必須である1MHz近傍の周波数の超音波を用いた(メガソニック技術)について、そのシリコンウェーハ中のエネルギー伝搬メカニズムを研究し、枚葉式ウェーハ洗浄装置におけるメガソニック照射の最適化手法を提案したもので、実用的にも重要な知見である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、次世代の半導体製造に対応し得る高性能でかつ生産性の高いウェットクリーニング装置を開発し、クリーニング条件を最適化することにより85秒以内で一枚のウェーハを十分に洗浄・乾燥できることを実証したもので、半導体電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。